

## KALSİT VE ÇAM TALAŞI DOLGULU POLYESTER MATRİSLİ KOMPOZİTİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

*İlyas KARTAL\**   
*Yalçın BOZTOPRAK\**   
*Hilal SELİMOĞLU\*\** 

Alınma: 26.04.2024; düzeltme: 07.08.2024; kabul: 08.08.2024

**Öz:** Polimer kompozitlerde matris malzemesi olarak termoplastikler daha yaygın olsa da epoksi ve polyester gibi termosetlerin kullanımı da mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, endüstride yaygın bir şekilde kullanılan polyester reçinesi içerisine kalsit ilavesinin yanı sıra doğal bir atık malzeme olan çam talaşını ilave ederek üretilen kompozit numunelerin aşınma özelliklerini incelemektir. Kalsit (kalsiyum karbonat), inorganik dolgu maddesi olarak endüstride yoğun kullanıma sahiptir. Çam talaşı ise özellikle mobilyacılık sektöründe doğal atık olarak çıkmaktadır. Bu iki dolgu malzemesi matrise farklı oranlarda ilave edilmiştir. Elde edilen karışım açık teflon kalıba dökülerek kompozit numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin 22 saat suda bekletilmesiyle su absorpsiyonu, pin on disk yöntemi uygulanarak aşınma özellikleri ve Shore D yöntemiyle sertlik özellikleri incelenmiştir. Kırık yüzeyler için SEM analizi yapılmıştır. Aşınma testi sonuçları talaş miktarının artmasıyla aşınmanın arttığını, kalsit miktarının artmasıyla aşınmanın azaldığını göstermiştir. Shore D sertlik testinde ise özellikle kalsit miktarının artışına bağlı olarak sertliğin arttığı görülmüştür. Su absorpsiyon testinde ise kompozit numunelerde kalsitin azalması ve talaş oranının artmasıyla su absorpsiyonunun arttığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalsit, Çam talaşı, Polyester, Kompozit, Aşınma

### Investigation of Wear Properties of Calcite and Pine Sawdust Filled Polyester Matrix Composite

**Abstract:** Although thermoplastics are more common as matrix materials in polymer composites, thermosets such as epoxy and polyester are also used. The aim of this study is to investigate the wear properties of composite samples produced by adding pine sawdust, a natural waste material, as well as calcite into polyester resin, which is widely used in the industry. Calcite (calcium carbonate) is used extensively in the industry as an inorganic filler. Pine sawdust is especially produced as a natural waste in the furniture sector. These two fillers were added to the matrix at different rates. The resulting mixture was poured into an open teflon mold and composite samples were prepared. Water absorption was examined by keeping the samples in water for 22 hours, wear properties were examined by applying the pin-on-disc method and hardness properties were examined by using the Shore D method. SEM analysis was performed for fractured surfaces. Wear test results showed that wear increased with the increase in the amount of sawdust and decreased with the increase in the amount of calcite. In the Shore D hardness test, it was observed that hardness increased especially due to the increase in the amount of calcite. In the water absorption test, it was observed that water absorption increased with the decrease of calcite and increase of sawdust ratio in composite samples.

**Keywords:** Calcite, Pine sawdust, Polyester, Composite, Wear

\* Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Maltepe, 34854, İstanbul

\*\* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Maltepe, 34854, İstanbul  
Sorumlu Yazar: İlyas KARTAL (ilyaskartal@marmara.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, farklı türlerdeki malzemelerin kombinasyonundan oluşan ve genellikle bir matris (bağlayıcı) malzeme ile bir veya daha fazla dolgu/takviye malzemesinin bir araya getirilmesiyle üretilen malzemelerdir. Genel olarak kompozit malzemeler farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve performansı artırmak, hafifletmek, dayanıklılığı artırmak ve özelleştirilebilir çözümler sunmak gibi birçok avantaj sağlarlar. Günümüzde malzeme bilimi ve mühendisliğinin hızla ilerlemesiyle farklı bileşenlerin birleşiminden oluşan kompozit malzemeler de gelişmiş ve çeşitli endüstrilerde dönüşümsel bir etki oluşturmuştur. Sahip olduğu özellikler, kompozit malzemelerin havacılık, otomotiv, inşaat, spor malzemeleri ve daha birçok sektörde geniş uygulama alanları bulmasına neden olmuştur. Kompozit malzemelerin bu çeşitli uygulamalardaki bu başarısı, özellikle içerdikleri dolgu maddelerinin ve takviye elemanlarının doğru seçilmesine dayanmaktadır. Dolgu maddeleri kompozitin mekanik özelliklerini, termal davranışını, elektriksel iletkenliğini ve kimyasal dayanıklılığını etkileyerek son ürünün belirli gereksinimlere uygun hale gelmesini sağlar. Bu bağlamda dolgu maddelerinin kompozit malzemelerin geliştirilmesindeki rolü, malzeme bilimi ve mühendisliği araştırmalarında önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir (Hsissou ve diğ., 2021, Bhong ve diğ., 2023).

Sentetik ve doğal dolgu maddeleri, kompozit malzemelerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerini etkilemek amacıyla kullanılır. Sentetik dolgu maddeleri, genellikle özel olarak üretilmiş polimerik veya mineral temelli malzemelerdir. Bu dolgu maddeleri, bazen çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik kaygıları nedeniyle eleştirilere yol açabilirler. Doğal dolgu maddeleri ise biyo-kaynaklar olarak kabul edilen ve genellikle bitkisel kökenli olan malzemelerdir. Bu dolgu maddeleri, sürdürülebilirlik açısından avantajlar sunabilir ve biyo-bazlı kompozit malzemelerin üretimini destekleyebilir. Bununla birlikte doğal dolgu maddelerinin mekanik ve kimyasal özelliklerinin kontrol edilmesi çoğu zaman zordur ve belirli uygulamalarda sentetik alternatiflere kıyasla sınırlamalar getirebilir. Doğal dolgu esaslı kompozit malzemeler üzerine literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Demirer ve diğ., 2018, Kartal, 2020, Kartal ve diğ., 2019, Boztoprak ve Gjergjizi, 2021, Anosike, 2022, Marques, 2022). Bu grup için çoğunlukla tercih edilen dolgu, ahşap talaşlarıdır (Neher ve diğ., 2020, Moritzer ve Richters, 2021, Kartal ve Büyük, 2023a, Kartal ve Özcan, 2023b, Kartal ve Selimoğlu, 2023c, Khoaele ve diğ., 2023).

Ahşap malzemelerin işlenmesi ile ilgili işlemler sonucunda talaş oluşur. Talaş, testereyle biçilen ya da törpü, rende gibi yontucu bir araçla işlenen bir üründen dökülen kırıntılardır. Oluşan talaşların boyutu; işleme yöntemine, kesme parametrelerine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişir. Ayrıca partiküllerin çoğu havada dağılma özelliğine sahip çok ince parçacıklardır. Ağaç malzemedan arta kalan odun talaşı çoğunlukla yakıt olarak ya da sıkıştırılıp sunta gibi ahşap levhaların yapımında kullanılır (Ramesh ve diğ., 2022, Singh ve diğ., 2023, Pokhrel ve diğ., 2021, Kusuktham 2019).

Talaş dolgulu polimer kompozitler, hafif malzeme yapısıyla karakterizedir. Bu özellik, uygulama alanlarında daha az ağırlıkla daha iyi performans sağlar. Talaş dolgulu polimer esaslı kompozitler, talaşın polimer matrisle iyi bir şekilde uyum sağlaması halinde iyi mukavemet sunar. Bu tür kompozitler, dayanıklı ve sert malzemelerdir. Talaş atıkları genellikle düşük maliyetle elde edilir, bu nedenle talaş dolgulu polimer kompozitlerin maliyetleri geleneksel dolgu maddelerine göre daha düşük olabilir. Talaş dolgulu polimer esaslı kompozitler, bir dizi endüstriyel ve ticari kullanım alanında değerli özellikler sunar. Hafifliği, mukavemeti ve yakıt verimliliği sebebiyle otomotiv parçaları ve kaplamalarında, yapı sektöründe duvar panelleri, kaplamalar ve diğer yapısal bileşenlerde, inşaat malzemelerinde, ambalaj malzemelerinde gıda ambalajı, paketleme ve taşıma kaplarında, yalıtım ve dayanıklılık sağlamak için elektronik bileşenlerde, kayak gibi spor malzemeleri ve oyun ekipmanlarında, bisikletler ve spor araçları gibi ürünlerde, bahçe mobilyaları üretiminde, döşemelerde ve dekoratif eşyalarda kullanımları mevcuttur. Aynı zamanda bu kompozitler, artan çevre bilincine ve sürdürülebilirlik arayışına uygun şekilde çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir umut verici bir malzeme seçeneğidir. Endüstriyel atık

yönetimi ve sürdürülebilir malzeme kullanımı için önemli bir alternatif oluştururlar (Ramesh ve diğ., 2022).

Koyuncu, yaptığı çalışmada % 5, 15, 30, 40, 50 oranlarında talaş ilave edilmiş epoksi matrisli kompozit malzemenin fiziksel özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışma, ağırlıkça %15 talaş dolgulu kompozit malzemenin diğer numunelere göre 7,5 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti, 8,9 MPa ile en yüksek eğilme mukavemeti gösterdiğini ortaya koymuştur. %15 dolgulu numunede epoksi ve talaş arasında iyi bir ara yüzey etkileşimi olduğu görülmektedir. Su absorpsiyon testi, talaş miktarının artmasıyla su absorpsiyonunda artış olduğunu göstermektedir (Koyuncu, 2022).

Narlıoğlu ve arkadaşları, çalışmalarında polipropilen matrise karaçam talaşı ilave etmiş ve elde edilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme mukavemetinde en yüksek değer %10 talaş dolgulu kompozit malzemede, en yüksek eğilme dayanımının ise %50 talaş dolgulu kompozit malzemede olduğu görülmektedir. En yüksek darbe dayanımını ise %20 talaş dolgulu numunede elde etmişlerdir (Narlıoğlu ve diğ., 2018).

Neher ve arkadaşları, 5 farklı oranda (% 0, 5, 10, 15, 20) talaş dolgulu akrilonitril bütadien stiren (ABS) matrisli kompozit numuneler hazırlamışlardır. Talaş miktarının artmasıyla su absorpsiyonunun arttığını, çekme mukavemetinin ve sertliğin azaldığını belirlemişlerdir. Maksimum kopma uzamasının ise % 5 talaş ilaveli kompozit numunede olduğunu ve devamındaki oranlarda kademeli olarak azaldığını belirlemişlerdir (Neher ve diğ., 2020).

Literatür çalışmaları irdelendiğinde matris olarak epoksi reçinesinin ve PP, ABS, PE gibi termoplastiklerin kullanılarak talaş katkılı kompozitler üzerine çalışmaların olduğu fakat endüstride yaygın bir şekilde kullanılan polyester ve yine yaygın bir şekilde atık olarak ortaya çıkan çam talaşının kullanımına dönük kompozit çalışmalarının yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada matris malzemesi olarak kompozit endüstrisinin lokomotif reçinesi olarak görülen genel amaçlı doymamış polyester reçinesi kullanılmıştır. Genel amaçlı terimi nispeten düşük maliyetli, yeterli mekanik performansı sunan ve bilinen prosesler için ideal olan reçineleri ifade eder. Genel amaçlı polyesterler orta ya da düşük vizkoziteli olarak üretilirler ve sadece kataliz ve hızlandırıcı eklenmesine gereksinim duyarlar (Ratna ve diğ., 2009, Penczek ve diğ., 2005, Thomas ve diğ., 2019).

Bu çalışmada dolgu maddesi olarak mobilya endüstrisinde bol miktarda açığa çıkan ve doğal atık olan çam talaşının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemizde bu tür selüloz esaslı odun atıkları genellikle yakılmaktadır. Çam talaşı öğütülerek daha da küçük partiküller haline getirilmiş olup kalsit ile birlikte farklı oranlarda polyester reçinesi içerisine katılmıştır. Elde edilen kompozit numunelerin aşınma özelliklerinin yanı sıra sertlik ve su absorpsiyon özelliklerine bakılmıştır. Sonuç olarak çam talaşının polyester reçine ile birlikte kullanılarak kompozit yapılar üretilebileceği ve endüstride çeşitli amaçlar için kullanılabilmesi görülmüştür.

## 2. MALZEME VE METOD

### 2.1. Malzemeler

Çalışmada dolgu olarak çam talaşı ve kalsit (kalsiyum karbonat) birlikte kullanılmıştır. Doğal dolgu olarak kullanılan çam talaşı, yerel bir mobilya imalatı firmasından atık olarak elde edilmiştir. Çam talaşı 250 µm elekten geçirilerek kullanılmıştır. Elde edilen talaşlar 250 µm altındadır ve boyut dağılımı homojen değildir. Kalsit ise endüstride dolgu olarak yoğun kullanımı sebebiyle kullanılmıştır. Çalışmada kalsit olarak Nidaş Madencilik A.Ş. firmasının Nidaşcarb 3 kodlu ürünü kullanılmıştır. Kullanılan kalsiyum karbonatın fiziksel ve kimyasal özellikleri tablo 1'de verilmiştir (Nidaş, 2024). Matris malzemesi olarak endüstride yoğun kullanıma sahip termoset reçinesi olan polyester kullanılmıştır. Metil Etil Keton Peroksit (Erco Boya, İstanbul) reaksiyon başlatıcısı olarak kullanılmıştır. Reçine hızlandırıcılı olduğu için ayrıca hızlandırıcı kullanılmamıştır. Numunelerin hazırlanmasında teflon kalıp kullanılmıştır.

**Tablo 1. Kalsiyum karbonatın fiziksel ve kimyasal özellikleri**

Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellikler	
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,7	CaCO <sub>3</sub>	>99,6%
Sertlik (Mohs)	3	MgO	<0,20%
Refraktif indeks	1,59	FeO <sub>2</sub>	<0,01%
		SiO <sub>2</sub>	<0,01%
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,02%

## 2.2. Numune Hazırlanması

Çam talaşı, reçineye ilave edilmeden önce 40°C'deki etüvde 2 saat kurumaya bırakılmıştır. Kurutulduktan sonra 0-250 µm boyut aralığında elenmiştir ve belirlenen oranlarda polyester reçine içerisine katılarak karıştırma işlemi uygulanmıştır. Reçine sertleştiricisi olarak %1,5 MEK-P ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım, düz bir yüzey üzerinde teflon kalıba dökülmüştür. Kürlenmesi için oda sıcaklığında 12 saat bekletilen numuneler, sonrasında kalıptan çıkarılmıştır. Farklı ağırlık oranlarında talaş ve kalsit ilavesiyle hazırlanan kompozit numunelerin yüzdesel olarak içerikleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Numune kodlamaları da yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Örneğin; 5T15K kodlu numune, “% 5 talaş ve % 15 kalsit içeriyor” anlamına gelmektedir.

**Tablo 2. Kompozit numunelerin içeriği**

Numuneler	Çam Talaşı (%)	Kalsiyum Karbonat (%)	Polyester (%)
Saf Polyester	0	0	100
5T15K	5	15	80
10T10K	10	10	80
15T5K	15	5	80
20T	20	0	80
20K	0	20	80

T: Talaş, K: Kalsiyum karbonat

## 2.3. Test ve Analizler

Kırık yüzeylerin analizi için Marmara Üniversitesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezindeki Taramalı Elektron Mikroskopu (Polaron SC) kullanıldı.

Su absorpsiyonu testi için numuneler 22 gün boyunca su içerisinde bekletildikten sonra hassas terazide tartımlar yapılmıştır.

Aşınma testi için ise Devotrans GT-7012-T model Taber aşınma cihazı ve uygun aparatlar kullanılarak Pin On Disk Testi yapılmıştır, test ASTM G99 standardına göre CS10 aşındırıcı ile oda sıcaklığında 72 rpm hızda yapılmıştır. Her deney öncesi ve sonrasında disk ve numune yüzeyleri fırça yardımıyla temizlenmiştir.

Bu çalışmada aşınma oranlarının belirlenmesinde her bir gruptan 3'er adet numune test edilmiştir ve aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir numunenin başlangıçta (aşınma öncesi

ve her 250 turda bir, toplamda 1000 tur olmak üzere ağırlıkları 0,0001 hassasiyetindeki hassas terazide ölçülmüş ve ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) hesaplanmıştır.

Bir malzemenin aşınmasına kütle kaybı, yoğunluk, aşınma mesafesi ve uygulanan yük etki etmektedir. Bu çalışmada aşındırıcı tekerleklerin disk üzerinde oluşturduğu aşınma izinin yarıçapı 4,5 cm olup 1 turdaki aşınma mesafesi 28 cm'dir, 250 tura karşılık gelen mesafe ise yaklaşık 70 metredir, 1000 tura karşılık gelen toplam aşınma mesafesi ise 280 metredir. Uygulanan yük 250 gr'dır. Yüzde oranlarına göre kodlama yapılan numunelerin yoğunlukları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3. Numunelerin yoğunlukları**

Numune	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Saf Polyester	1,21
5T15K	1,31
10T10K	1,30
15T5K	1,23
20T	1,18
20K	1,34

T: Talaş, K: Kalsiyum karbonat

Aşınma oranlarının hesaplanmasında Denklem (1) kullanılmıştır (Kartal ve diğ., 2006):

$$W_s = \frac{\Delta m}{\rho \cdot FN \cdot L} \quad (1)$$

Burada;  $W_s$ : Aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/Nm)

$\Delta m$ : Aşınma testi sırasındaki ağırlık kaybı (g)

$\rho$ : Numune yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

L: Aşınma mesafesi (m)

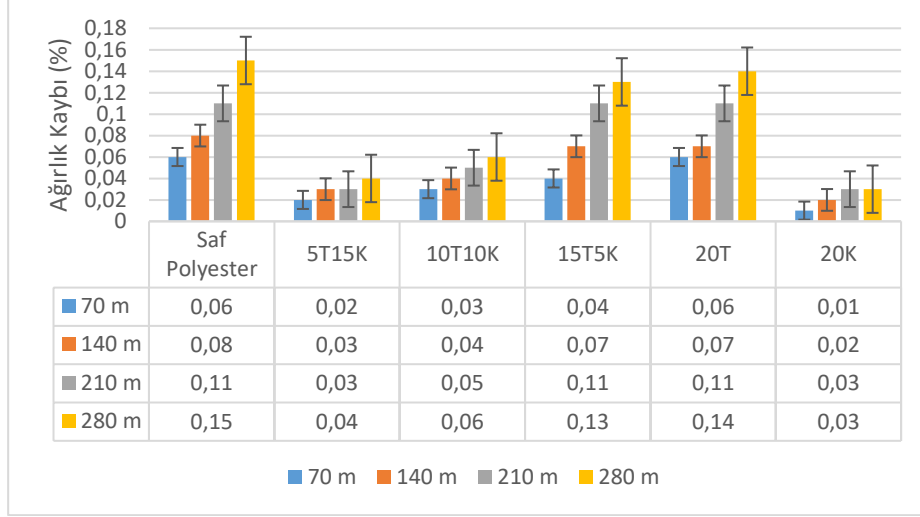
FN: Aşınma sırasında numune üzerine uygulanan yük (N)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kompozitlerin aşınma davranışı, bu malzemelerin özellikleri nedeniyle metal, seramik gibi diğer malzemelerden farklı olabilir. Kompozitlerin aşınma özellikleri; çekme mukavemeti, yorulma ömrü, sertlik gibi faktörlere bağlı olarak gerçekleşir.

Malzemelerin temel ve önemli özelliklerinden biri aşınma ve sürtünmedir. Aşınma, katı bir yüzey ile temas eden madde veya maddeler arasındaki bağıl hareket nedeniyle genellikle artan malzeme kaybı içeren, katı bir yüzeye verilen hasar olarak tanımlanır. Ayrıca aşınma, çalışma ortamındaki iki yüzey arasındaki etkileşimin veya katıların sınırlayıcı yüzlerinin, gerçek bir ayrılma ve malzeme kaybı olsun veya olmasın bir katının boyut kaybına yol açtığı bir süreç olarak da tanımlanabilir. Aşınma ve sürtünme, bileşenlerin hizmet ömrü boyunca enerji kaybı ve malzeme kaybına neden olur, verimliliğin azalmasına yol açar. Böylece aşınma kayıplarının azaltılması kaliteli yaşam için vazgeçilmez hale gelir (Borah ve Samanta 2022, Unal ve diğ., 2005).

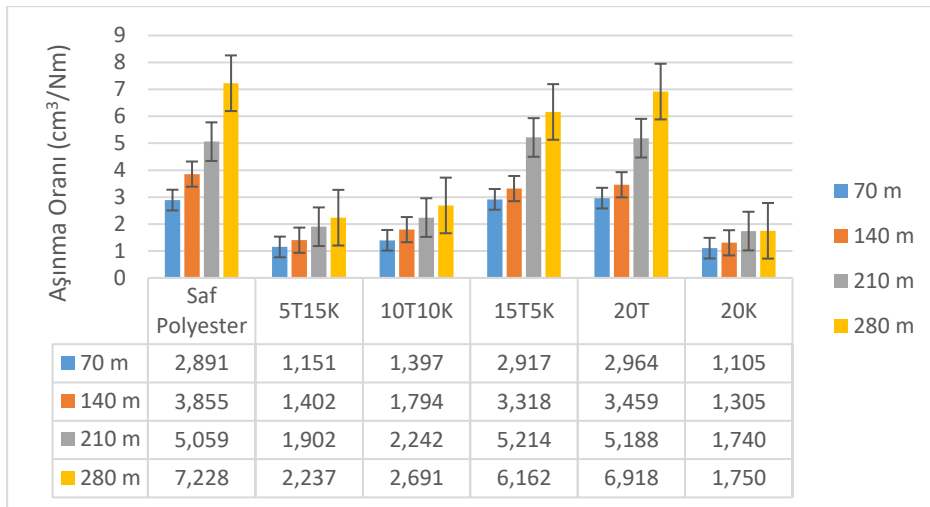
Bu çalışmada aşınma mesafesinin 70 metreden 280 metreye çıkması ile ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) artmıştır (Şekil 1). En yüksek ağırlık kaybı dolgusuz saf polyeester numunesinde gözlenmiştir. Matrise ilave edilen çam talaşı ve kalsit dolguları ağırlık kaybını azaltmıştır, fakat matris içerisindeki çam talaşı miktarının artıp kalsit miktarının azalmasına bağlı olarak ağırlık kaybının ( $\Delta m$ ) arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin talaşın yumuşak yapıya sahip olmasından ve kompozit yapının sertliğini düşürmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 1:**

*Aşınma mesafesine göre numunelerin ağırlık kaybı oranları*

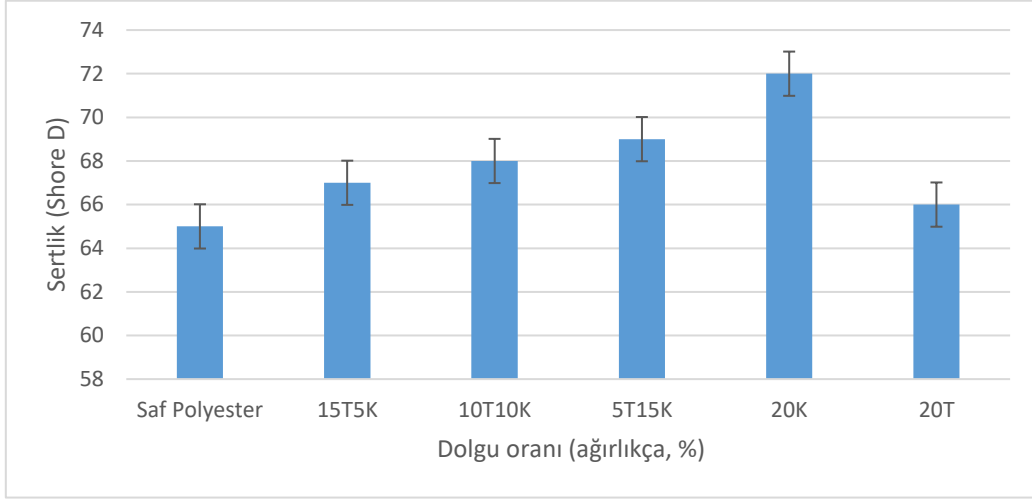
Şekil 2'de numunelerin aşınma mesafelerine göre aşınma oranları verilmiştir. Aşınma mesafesi arttıkça aşınma oranının arttığı görülmektedir. Talaş miktarının artması ve kalsit miktarının azalmasıyla aşınma oranı artış göstermektedir. Hazırlanan kompozit numunelerde aşınma oranındaki en bariz düşüş %20 kalsit içeren 20K kodlu numunede, en yüksek artış ise % 20 talaş içeren 20T kodlu numunede görülmüştür. Dolgu içermeyen saf polyeesterde aşınma oranı, dolgu içeren kompozitlere göre daha yüksektir.



**Şekil 2:**

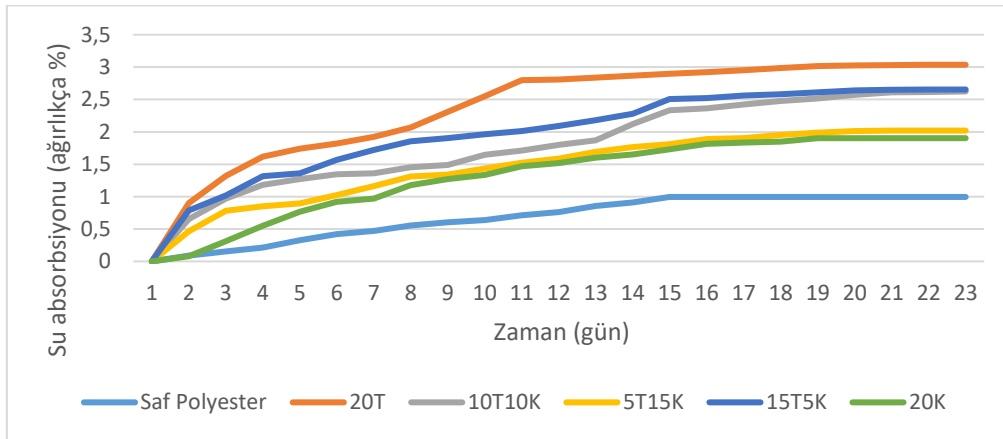
*Numunelerin aşınma mesafelerine göre aşınma oranları*

En düşük Shore D sertlik değeri 65 olarak saf polyesterde tespit edilmiştir. Diğer numunelerde beklendiği gibi dolgu oranlarının özellikle kalsit oranının artmasıyla birlikte sertlik değerleri de artmıştır. En yüksek Shore D sertlik değerinin %20 kalsit dolgulu numunede 72 olduğu görülmüştür. Talaş dolgusunun da sertlik değerinin artmasına etki ettiği görülmüştür, %20 talaş katkılı numune bunu göstermektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ile bu sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür (Kartal ve Beşkardeşler, 2023, Maysa ve diğ., 2011).



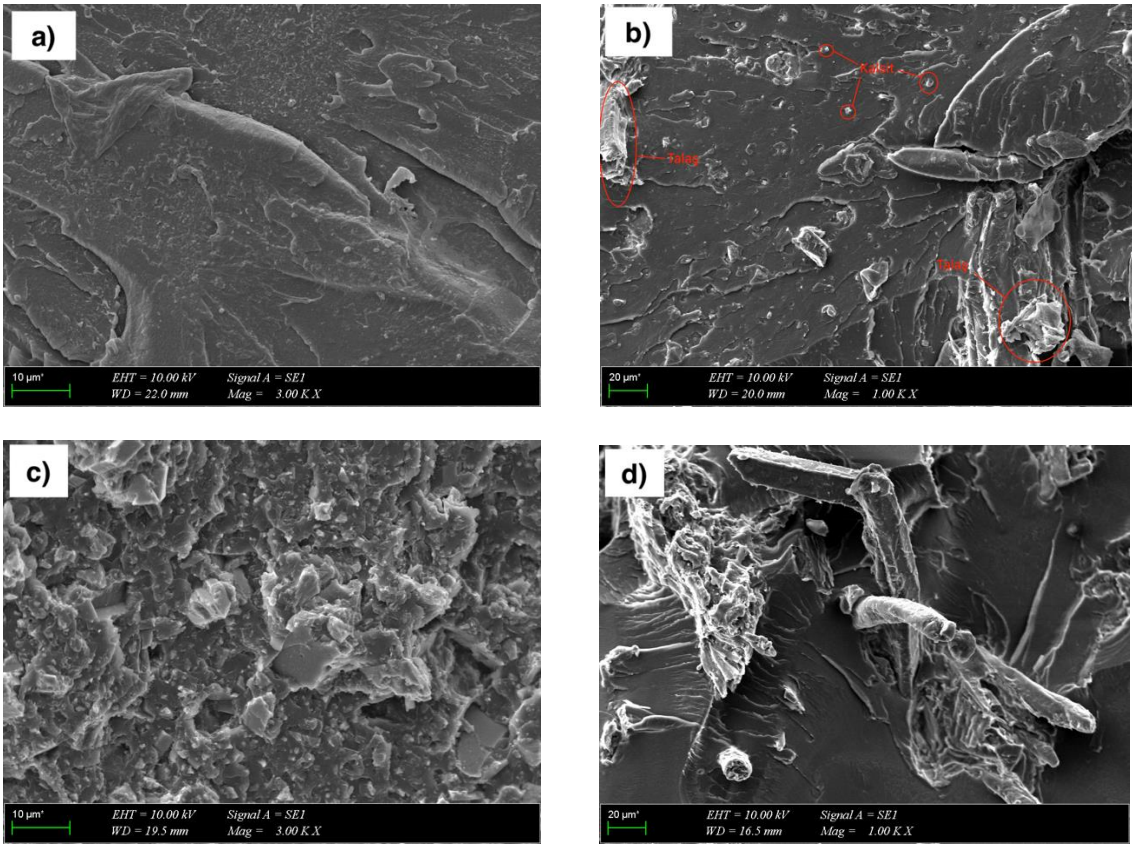
**Şekil 3:**  
Numunelerin sertlik değerleri

Şekil 4'te numunelerin 22 günlük su absorpsiyon testi sonuçları verilmiştir. 22 günün sonunda en yüksek su absorpsiyonu %20 talaş dolgusu ile 20T kodlu numunede görülmüştür. Kompozit numunelerde 22 günlük süre içinde su absorpsiyonlarında artış olduğu gözlenmiştir. Bu sürenin sonunda eğrinin yataylaşma eğiliminde olduğu görülmektedir. Saf polyesterin hidrofobik, selüloz esaslı malzemelerin ise hidrofilik özellikte olduğu bilinmektedir. Selüloz esaslı malzemelerin bulunduğu kompozitlerde su absorpsiyonundaki artış, grafikten net olarak görülmektedir. Kalsit dolgusunun talaşa göre daha az su absorbe ettiği gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler literatür ile uygunluk göstermektedir (Taşdemir ve diğ., 2013, Kumari ve diğ., 2007).



**Şekil 4:**  
Numunelerin su absorpsiyonu

Numunelerin kırık yüzeylerinden SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Tüm numunelerden dolgu ile matris arasında iyi bir bağ olduğu düşünülmektedir. Gerek kalsitin iyi karışabilir özellikte olması, gerekse talaşın hidrofilik özellikte olması ara yüzey özelliklerine fayda sağladığı düşünülmektedir. Şekil 5(a) saf polyester reçineden elde edilen numunenin kırık yüzey görüntüsü verilmiştir. Şekil 5(b)'de verilen görüntü %10 kalsit %10 talaş dolgulu numuneye aittir, kalsit ve talaş bir arada görülmektedir. Şekil 5(c)'de %20 kalsit dolgulu numune görüntüsü verilmiştir. Görüntüden de anlaşılacağı gibi yoğun bir kalsit dağılımı söz konusudur. Son görüntü Şekil 5(d) ise %20 talaş dolgulu numunenin kırık yüzey görüntüsüdür. Talaş dolgulu numunelerde doyuma ulaşma oranının ağırlıkça %20 olduğu birçok kaynakta rapor edilmiştir. Bu çalışmada da dolgu oranı ağırlıkça %20'de sabit tutulmuştur. Daha fazla talaş dolgusu içeren numunelerde topaklanma olduğu, bunun da mekanik özellikleri etkileyerek hava kabarcıkları ve gözeneklerinin oluşumuna neden olduğu rapor edilmiştir (Kartal ve Büyük, 2023).



Şekil 5:  
Numunelerin SEM görüntüleri a. Saf Polyester b. 10K10T c. 20K d. 20T

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada genel amaçlı kullanılan polyester reçinesinden termoset matrisli kompozit numuneler hazırlanmıştır. Dolgu olarak endüstride en çok kullanılan kalsit ile birlikte organik yapıdaki talaş dolgusu tercih edilmiştir. Talaş olarak ülkemizde bol bulunan çam ağacının talaşı tercih edilmiştir. Kalsit ve çam talaşı farklı oranlarda birlikte kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Çam talaşının kullanımıyla çevreye duyarlı bir yeşil kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.



Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Kompozit numunelerde sertliğin arttığı görülmüştür. Sertlik artışına özellikle kalsit etki etmiştir, kalsit oranının artması ve çam talaşı oranının azalmasıyla birlikte sertlik artmıştır. En yüksek Shore D sertlik değerinin % 20 kalsit dolgulu numunede (20K) 71,5 olarak görülmüştür. Çam talaşının az da olsa sertliğe etki ettiği görülmüştür, % 20 talaş dolgulu numunede (20T) Shore D sertlik değerinin 66 olması bunu ispatlamaktadır.
- 22 günlük su absorpsiyon testi sonuçları irdelendiğinde kompozit numunelerin su absorpsiyonlarında artış olduğu gözlenmiştir. 22 günün sonunda en yüksek su absorpsiyonu % 20 talaş dolgulu (20T) numunede ağırlıkça % 3 olarak görülmüştür. Bu sürenin sonunda eğrinin yataylaşma eğiliminde olduğu görülmektedir. Selüloz esaslı malzemeler hidrofilik özelliindedir. Çam talaşı bu özellikte olduğu için talaş miktarının artmasına bağlı olarak su absorpsiyonunun arttığı görülmektedir. Kalsit dolgusunun talaşa göre çok daha az su absorbe ettiği gözlenmiştir.
- Aşınma mesafesinin 70 metreden 280 metreye çıkması ile ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) artmıştır. En yüksek ağırlık kaybı dolgunsuz saf polyester numunesinde gözlenmiştir fakat çam talaşı ve kalsit ilavesiyle birlikte ağırlık kaybı azalmıştır. Kompozit numunelerde matris içerisindeki çam talaşı miktarının artıp kalsit miktarının azalmasına bağlı olarak ağırlık kaybının ( $\Delta m$ ) arttığı tespit edilmiştir. Kompozit numunelerde en düşük ağırlık kaybı % 20 kalsit içeren numunede (20K) görülürken en yüksek ağırlık kaybı % 20 talaş içeren numunede (20T) görülmüştür. Bunun sebebinin talaşın yumuşak yapıya sahip olmasından ve kompozit yapının sertliğini düşürmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.
- Aşınma oranının ise aşınma mesafesinin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Talaş miktarının artması ve kalsit miktarının azalmasıyla aşınma oranı artış göstermektedir. Hazırlanan kompozit numunelerde aşınma oranındaki en bariz düşüş %20 kalsit içeren numunede (20K), en yüksek artış ise % 20 talaş içeren numunede (20T) görülmüştür. Dolgu içermeyen saf polyesterde aşınma oranı, dolgu içeren kompozitlere göre daha yüksektir.
- Aşınma testi neticesinde ağırlık kaybı ve aşınma oranı değerlendirildiğinde saf polyester numunelere göre çam talaşı ve kalsit içeren numunelerde aşınmanın azaldığı görülmüştür. Yani çam talaşı ve kalsit, saf polyesterin aşınmasını azaltmıştır.
- Numunelerin kırık yüzey SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır ki kompozit numunelerde dolgu ile matris arasında iyi bir bağ oluşmuş ve aglomerasyon meydana gelmemiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde kalsit dolgusu ile talaş dolgusunun polyester reçinesinde dolgu olarak birlikte kullanılabilceği, talaş içerikli numunelerde su emme oranında kısmi bir artış olsa da ayrıca tek başına da kullanılabilceği, böylece çam talaşının endüstriyel kompozit uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulabileceği düşünülmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

İlyas Kartal: Çalışmanın malzeme tasarım ve proses süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama

Yalçın Boztoprak: Çalışmanın proses ve test süreçlerinin yürütülmesi, veri analizi ve yorumlama

Hilal Selimoğlu: Malzeme üretimi ve testlerin yapılması

## KAYNAKLAR

1. Anosike Francis, E.N., Obianyo, I.I., Salami, O.W., Ihekweme, G.O., Ofem, M.I., Olorunnisola, A.O. ve Onwualu, A.P. (2022) Physical-mechanical properties of wood based composite reinforced with recycled polypropylene and cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) husk, *Cleaner Materials*, 5, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100101>.
2. Bhong, M., Khan, T.K.H., Devade, K., Krishna, B.V., Sura, S., Eftikhaar, H.K., Thethi, H.P., Gupta, N. (2023) Review of composite materials and applications, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.10.026>.
3. Borah, P. ve Samanta, S. (2022) Wear behaviour of glass/jute hybrid epoxy composites with addition of fillers, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(1), 54-67, DOI: 10.1080/2374068X.2020.1793270
4. Boztoprak, Y., ve Gjergjizi, B. (2021) An overview of palm fiber reinforced composites, *Innovative Technology Applications in Engineering Sciences*, 224-248.
5. Demirer, H., Kartal, İ., Yıldırım, A., ve Büyükkaya, K. (2018) The utilisability of ground hazelnut shell as filler in polypropylene composites. *Acta Physica Polonica A*, 134, 254-256. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.134.254>
6. Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M. ve Elharfi, A. (2021) Polymer composite materials: A comprehensive review, *Composite Structures*, 262 (113640), <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640>.
7. Kartal, İ., Boztoprak, Y., Bilici, M.K., Çakır, M. (2006) Epoksi-Polyester Karışımlarının Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye.

8. Kartal, İ., Naycı, G., ve Demirer, H. (2019) Cam ve bambu lifleriyle takviyelendirilmiş vinilester kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 34-37.
9. Kartal, İ. (2020) Effect of hornbeam sawdust size on the mechanical properties of polyethylene composites, *Emerging Materials Research*, 9(3), 979-984. <https://doi.org/10.1680/jemmr.20.00164>
10. Kartal, İ. ve Beşkardeşler, İ. (2023) The utilisability of ground pistachio shells with calcite filler in polyester-based composite materials, 4. International Printing Technologies Symposium, 5-6 October 2023, Istanbul
11. Kartal, İ. ve Büyük, B (2023) Ağaç talaşı dolgulu geri dönüşüm polipropilen kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, 2nd International Materials Engineering and Advanced Manufacturing Technologies Congress, 156-162.
12. Kartal, İ. ve Özcan, Z. (2023) Gürgeç ağacı talaşı dolgulu epoksi matrisli kompozit yapıların mekanik özelliklerinin incelenmesi, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 7(1), 1-5. DOI: 10.36287/ijmsit.7.1.1
13. Kartal, İ. ve Selimoğlu, H. (2023) Usability of pine sawdust and calcite together as filler in polyester composites, *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 9(3), 267-273. DOI: 10.22399/ijcesen.1335325
14. Khoaele, K.K., Gbadeyan, O.J., Chunilall, V. Ve Sithole, B. (2023) A review on waste wood reinforced polymer composites and their processing for construction materials, *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 104-116, DOI: 10.1080/19397038.2023.2214162
15. Koyuncu, M. (2022). Experimental investigation of epoxy matrix and pine sawdust reinforced wood-polymer composite materials, *BioResources*, 17(1), 1161-1172, DOI: 10.15376/biores.17.1.1161.1172
16. Kumari, R., Ito, H. ve Takatani, M. (2007) Fundamental studies on wood/cellulose-plastic composites: Effects of composition and cellulose dimension on the properties of cellulose/PP composite, *Journal of Wood Science*, 53, 470-480, DOI: 10.1007/s10086-007-0889-5
17. Kusaktham, B. (2019) Mechanical properties and morphologies of high density polyethylene reinforced with calcium carbonate and sawdust compatibilized with vinyltriethoxysilane, *Silicon*, 11, 1997-2013. <https://doi.org/10.1007/s12633-018-0020-0>
18. Marques, M., Gonçalves, L.F.F.F., Martins, C.I., Vale, M. ve Duarte, F.M. (2022) Effect of polymer type on the properties of polypropylene composites with high loads of spent coffee grounds, *Waste Management*, 154, 232-244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.009>.
19. Maysa, A., Mohamed, N.A., Shaltout, A.A., El, M., (2011), The effect of gamma irradiation and particle size of CaCO<sub>3</sub> on the properties of HDPE/EPDM blends, *Arabian Journal of Chemistry*, 4, 71- 77, DOI: 10.1016/j.arabjc.2010.06.022
20. Moritzer, E. ve Richters, M. (2021) Injection molding of wood-filled thermoplastic polyurethane, *Journal of Composites Science*, 5, 316. <https://doi.org/10.3390/jcs5120316>

21. Narlıoğlu, N., etin, N.S., Alma, M.H. (2018) Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 38-45, <https://doi.org/10.33725/mamad.433532>
22. Neher, B., Nova, N.T., Hossain, R., Gafur, M.A. ve Ahmed, F. (2020) Fabrication and characterization on physico-mechanical and structural properties of sawdust reinforced acrylonitrile butadiene styrene (ABS) composites, *Materials Sciences and Applications*, 11, 644-658. <https://doi.org/10.4236/msa.2020.119043>
23. NİDAŞ A.Ő. TDS, <https://www.knowde.com/stores/nidas-kalsit/products/nidascarb-3#enhanced-tds>, Eriřim Tarihi: 27.07.2024
24. Penczek, P., Czub, P., Pielichowski, J. (2005) Unsaturated Polyester Resins: Chemistry and Technology. In: *Crosslinking in Materials Science. Advances in Polymer Science*, vol 184. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/b136243>
25. Pokhrel, G., Gardner, D.J. ve Han, Y. (2021) Properties of wood–plastic composites manufactured from two different wood feedstocks: Wood flour and wood pellets, *Polymers*, 13(16), 2769. <https://doi.org/10.3390/polym13162769>
26. Ramesh, M., Rajeshkumar, L., Sasikala, G., Balaji, D., Saravanakumar, A., Bhuvanewari, V. ve Bhoopathi, R. (2022) A critical review on wood-based polymer composites: processing, properties, and prospects, *Polymers*, 14 (3), 589. <https://doi.org/10.3390/polym14030589>
27. Ramesh, M., Rajeshkumar, L., Srinivasan, N., Kumar, D. & Balaji, D. (2022). Influence of filler material on properties of fiber-reinforced polymer composites: A review. *e-Polymers*, 22(1), 898-916. <https://doi.org/10.1515/epoly-2022-0080>
28. Ratna, D. (2009) *Handbook of Thermoset Resins*, Smither Rapra, UK.
29. Singh, M.K., Mohanty, A.K. ve Misra, M. (2023) Upcycling of waste polyolefins in natural fiber and sustainable filler-based biocomposites: A study on recent developments and future perspectives, *Composites Part B: Engineering*, 263, 110852, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110852>.
30. Taşdemir, M., Koak, D., Merdan, N., Usta, İ. ve Akalın, M. (2013) Recycled polyamide-6/waste silk & cotton fibre polymer composites: Effect of fibre length, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 25(4), 157-166.
31. Thomas, B., Hosur, M. ve Chirayil, C.J. (2019) *Unsaturated Polyester Resins Fundamentals, Design, Fabrication and Applications*, Elsevier Inc.
32. Unal, H., Sen, U. ve Mimaroglu A. (2005) Abrasive wear behaviour of polymeric materials, *Materials & Design*, 26(8), 705-710, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.09.004>